农田非作物生境调控与害虫综合治理

尤民生，侯有明，刘雨芳，杨　广，李志胜，蔡鸿娇
（福建农林大学植保学院，福州　350002）

摘要：就害虫综合治理的研究而言，农田生态系统可以区分出作物生境和邻近作物的非作物生境。昆虫从作物生境迁移到非作物生境，与作物生境缺乏食物或受人类栽培活动干扰而引起的自然迁移、转换寄主和寻求庇护场所有关。许多研究表明，与特定作物田块相联系的植被类型和结构可影响害虫及其天敌迁居的种类、数量和时间。因此，我们可以通过改变大田周围非作物生境的植被组成及特征来调控农业生态系统中害虫与天敌的相互关系，提高天敌对害虫的控制效能。由于景观的空间格局对节肢动物的生物学特性有直接或间接的影响，所以，以景观为单元要比以同类作物的田块为单元更加适于害虫综合治理的研究和实施。在现代农业景观区域内重新引入和相嵌一些非栽培植物或廊道，可为众多有益节肢动物的繁殖、取食和避害提供多种类型的非作物栖境。

关键词：农田生态系统；非作物生境；多样性；害虫综合治理
中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2004)02-0260-09

Non-crop habitat manipulation and integrated pest management in agroecosystems

YOU Min-Sheng，HOU You-Ming，LIU Yu-Fang，YANG Guang，LI Zhi-Sheng，CAI Hong-Jiao (College of Plant Protection，Fujian Agriculture and Forestry University，Fuzhou 350002，China)

Abstract: An agroecosystem can be identified as an area which includes crop habitat and non-crop habitat adjacent to the targeted crop for research on integrated pest management. Insect movement from the crop habitat to the adjacent non-crop habitat can be related to natural dispersal，host alternation and shelter seeking due to lack of suitable food or cultivation-caused disturbances in the crop habitat. Many studies suggest that the vegetational settings and structure associated particular crop fields can influence the kind，abundance，and time of colonization of insect pests and their natural enemies. Compositions and characteristics of the vegetation around crop fields can therefore be modified to regulate inter-relationships of the crop pests and their natural enemies in agroecosystems，and to enhance ecological functions of the enemies for pest management. A landscape rather than a single homogeneous field may often be the appropriate unit for research and implementation of integrated pest management since the spatial patterns of the landscape influence the biology of arthropods both directly and indirectly. Reintroducing a mosaic structure composed of various uncultivated plants or corridors into modern agricultural landscape can lead to the creation of multiple non-crop habitats for reproduction，feeding and shelter for a number of beneficial species of arthropods.

Key words: agroecosystem; non-crop habitat; biodiversity; integrated pest management

1　引言

农田生态系统是一种开放的、不稳定的人工生态系统，就其生境而言，包括作物生境和周围的非作物生境两部分。作物生境是害虫及其天敌滋生繁衍的主要场所，而非作物生境则是害虫及其天敌寻求替代寄主或补充营养以及在空间上逃避不良环境条件的主要场所。因此，这两部分生境对害虫和天敌都是很重要的。

在许多情况下，为害作物的主要害虫并非本地虫源，而是从外地迁飞来的，与农田周围环境条件通常没有直接的关系；但这种环境可能是许多害虫天敌的重要栖息地。例如，为害水稻的主要害虫白背飞虱 *Sogatella furcifera*、褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 等主要害虫的当代

基金项目：国家自然科学基金(30070503，30170618)；福建省重大科技项目(2002N007，2003N019)资助课题
作者简介：尤民生，男，1954 年 10 月生，教授，博士，博导，主要从事昆虫生态与害虫综合治理等方面的研究，E-mail：msyou@fjau.edu.cn
收稿日期 Received：2003-05-26；接受日期 Accepted：2004-01-02

虫源多数是从外地迁飞来的，与非稻田生境及其植被关系不大；然而，非稻田生境中却贮存着丰富的天敌资源，对稻田天敌节肢动物群落的建立和发展具有明显的促进和调节作用（刘雨芳，2000，2003；刘向东，2002）。通过非作物生境的调控和管理，深入研究非作物生境中生物（包括植被、节肢动物）群落的结构及其多样性对农田生物群落的影响作用，对揭示作物—害虫—天敌之间以及农田生物群落与其周围非作物生境中的生物群落之间的相互关系和作用机理，充分发挥和利用天敌的自然控制作用，实施农田害虫的生态治理和持续控制具有十分重要的意义。

长期以来，人们更加注重作物生境的研究，比较忽视非作物生境的研究。虽然从 20 世纪 40 年代开始就陆续有一些研究报告（如 Dambach，1948），但研究工作进展缓慢。自 20 世纪 70 年代以来，随着生物多样性保护、害虫生态控制和发展可持续农业等概念的提出，非作物生境生态学日益受到生态学家和农学家的重视，这方面的研究工作进展很快，并在理论和实践上不断取得研究成果（Risch *et al*.，1983；Altieri，1994，1999）。

2 非作物生境对害虫的影响

在农田生态系统中，非作物生境包括农田周围的田埂、水渠、杂草地、抛荒地、休耕地、篱墙、树林等（Altieri，1993；Andrew and Rosenheim，1996）。害虫在作物生境和非作物生境之间的活动，与害虫由于其中某一生境缺乏食物、转换寄主或受到人为干扰（如施用除草剂）的自然迁移有关。由于受人为栽培活动的干扰和影响，作物生境处于经常的和季节性的变动之中，当作物生境恶化或食物短缺时，非作物生境可成为害虫的避难场所，其中的植被或杂草可成为害虫的替代寄主（Van Emden，1965）。这类害虫大多数倾向于取食与作物具有近缘关系的野生植物，超过 200 种的谷类作物害虫可利用在耕作区内分布广、数量多的野生杂草（Altieri，1993）。例如，胡萝卜田周围抛荒地中的荨麻 *Urtica dioica*，是导致附近胡萝卜遭受虫害的重要因子（Malamesd *et al*.，1979，引自俞晓平等，1996）；马铃薯上害虫的发生受到薯田周围野生茄科植物的影响（Van Emden，1990）；稻田周围的一些常见杂草如稗草 *Echinochloa crusgalli*、雀稗 *Paspalum scrobiculatum* 和狼尾草 *Pennisetum* spp.，是大稻缘蝽 *Leptocorisa oratorius* 的替代寄主（Grist and Lever，1969）。

非作物生境可为一些害虫的休眠或滞育提供庇护场所。在美国德克萨斯州北部平原，大豆象甲 *Anthonomus grandis* 的发生与种植防护带有关，这种防护带可以为象甲提供滞育越冬的草丛（Slosser and Boring，1980）。Otake（1976）发现，灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 能够在稻田外的杂草中以卵越冬（俞晓平等，1996）。在我国，二化螟 *Chilo suppressalis* 可以在稻田附近的茭白 *Zizania caduciflora* 上以幼虫越冬，黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps* 能以 4 龄若虫在田埂及灌溉渠附近的禾本科杂草上越冬（陈常铭等，1979）；麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* 在盛夏季节可从稻田迁至生长在海拔 500 m 以上的禾本科杂草如马唐 *Digitaria sanguinalis* 和鹅观草 *Roegneria kamoji* 上越夏（俞晓平，1996）。

非作物生境的植被可能影响某些作物害虫的分布格局及危害程度。小型的迁飞性昆虫，如蚜虫、蓟马，可能由于受到附近防风林的影响而集中在作物边缘（Lewis，1965）。Van Emden（1965）发现，甘蓝蚜虫在毗连农田周围防护带迎风面的田边数量较多，危害严重，但可能是其他物理因子引起蚜虫的死亡率增加，繁殖率下降，其种群密度迅速下降到只有田中间的一半。有些灌木篱墙的植物可以成为多种害虫的栖境，以便它们迁移到邻近的苹果园（Solomon，1981）。在英国，冬尺蠖 *Operophtera brumata* 除了取食苹果外，还可取食野生的 *Prunus* spp.、山毛榉、橡树，其幼虫可随风漂移，因此，篱墙和林地的树木对这种害虫就是非常重要的资源。林区边缘的地面可能有一些对作物害虫有吸引作用的植物。Wainhouse 和 Coker（1981）发现，多年生刺麻 *Urtica dioica* 在非耕地的分布与胡萝卜潜蝇 *Psila rosae* 的发生数量有关，并且建议，为了减少潜蝇的危害，应该简化大田附近的植被。

不少研究表明，非作物生境中的野生植物可能通过影响害虫的运动行为或释放某种化学物质来引诱害虫，从而减轻害虫对作物的危害（侯茂林等，1999；俞晓平等，1996）。例如，Bach（1980）在研究黄瓜甲虫 *Diabrotica undecimpuntata* 时发现，黄瓜 *Cucumis sativas* 纯作地里的甲虫种群明显地高于包括黄瓜及两种非寄主植物的混作种植地，Risch（1980）也发现甲虫在纯作地里停留的时间要比混作地里长；Van Emden（1977）观察到谷物田边的雀麦草 *Bromus* spp. 能诱集大量迁入的麦秆蝇 *Meromyza saltatrix*（俞晓平等，1996）；Altieri 等（1982，1983，

1984）的研究发现，羽衣甘蓝的害虫黄条跳甲 *Phyllotreta cruciferae* 会分散到附近的十字花科植物上取食，因为这些十字花科植物含有诱集跳甲的化学物质。

可见，非作物生境对作物害虫的影响是多方面的，我们可以通过改变非作物生境的植被组成、结构、覆盖度等，来创造不利于作物害虫过渡生存，或诱集作物害虫而集中灭之等措施，达到对作物害虫的持续控制。

3 非作物生境对天敌的影响

非作物生境中的植物种类及其多样性对农田害虫天敌的种类和数量有很大的影响（娄永根等，1999）。这种影响主要表现在两个方面：在作物生长期间，当遇到不利的农田生境条件时，如食物短缺、施肥用药或其他敌害等，非作物生境为害虫的天敌提供替代猎物或寄主、补充营养和躲避场所；在作物收获期间，非作物生境作为维持天敌种群的过渡或桥梁场所，为农田天敌群落的恢复重建提供种库（species pool）（Liss and Gut，1986；Altieri，1993；Andrew and Rosenheim，1996；张古忍等，1997；古德祥等，1999；刘雨芳等，2000，俞晓平等，2002）。

在我国，庄西卿（1989）的研究结果表明，田埂上的节肢动物亚群落与田间的节肢动物亚群落存在密切关系，稻田田埂为害虫天敌提供了一个良好的过渡场所，而田埂上杂草的高度和密度是影响田埂上天敌数量的主要生态因子。俞晓平等（1996）认为，稻田稻飞虱卵寄生蜂与其周围非稻田生境的稻飞虱卵寄生蜂有着非常密切的关系，当水稻移栽后，非稻田生境的卵寄生蜂能快速迁回到稻田中寄生稻飞虱卵，稻田周围的杂草地是稻飞虱捕食性天敌黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 的临时栖息地。虽然非稻田生境对保护稻飞虱卵寄生蜂有很大作用，但对其寄生特性有较大影响（俞晓平等，1998）。毛润乾等（2002）认为稻田稻飞虱卵寄生蜂群落的重建和维持受温度、种库中卵寄生蜂种类、种库距稻田的远近、稻田中害虫种类和数量以及害虫防治策略等的影响。刘雨芳等（2000，2003）对广东省稻作区稻田与其周围的田埂和杂草地中的捕食性节肢动物天敌亚群落进行相似性分析，结果表明，在水稻生长初期，稻田中的捕食性天敌与水稻移栽前（休耕期）稻田周围的杂草地和田埂生境中的捕食性天敌亚群落的相似性较高，这说明田埂、杂草地与稻田具有较多的共有捕食性天敌物种。当稻田灌水翻耕时，稻田周围的田埂、杂草地等为从水稻田中迁出的捕食性节肢动物提供了庇护场所，对保护稻田捕食性天敌亚群落起了重要作用。

在美国，研究结果也表明，农田周围的非作物生境及其植被的类型和性质与天敌的类群和数量密切相关。例如，在美国弗罗里达州北部，周围植被是松林和杂草的玉米田，其捕食者的密度及多样性比周围植被是高粱和大豆的玉米田高（Altieri and Whitcomb，1980）；就某一特定的作物而言，其周围植被也可以影响天敌的迁移率及种群组分（Altieri and Todd，1981）。在乔治亚州南部也有类似的情况，周围是豌豆和杂草的大豆田，捕食者的数量多于周围是空旷地的大豆田（Altieri and Todd，1981），大豆田里的捕食者数量从田边到田中间逐渐减少，说明这些捕食者是从周围的非作物生境迁入的，其数量分布与迁移距离成反比。Van Emden（1965）发现菜蚜的捕食者食蚜蝇 *Brevicoryne brassicae* 主要分布在周围有花草的田边，其捕食作用可使田边的害虫密度减少一半。在夏威夷，甘蔗田周围如果有蜜源植物，即可提高甘蔗象鼻虫寄生蜂 *Lixophaga sphenophori* 的种群数量及其控制效率，这种寄生蜂的作用范围大约在离田边蜜源植物 45～60 m 以内；用除草剂处理田边的蜜源植物，将对寄生蜂种群产生不利的作用，从而影响寄生蜂对象鼻虫的控制效率（Topham and Beardsley，1975）。Maier（1981）在美国康涅狄格（Connecticut）北部的苹果园和山楂园观察到茧蜂对苹果实蝇 *Rhagoletis pomonella* 的寄生率很高，果园附近通常种有蓝草莓 *Vaccinium* spp.、山茱萸 *Cornus* spp.、美洲冬青 *Ilex cillata* 等植物，这些植物为苹果实蝇提供了食物来源，因此也为茧蜂转移栖境或寻求替代寄主创造了条件。

在中欧，科技人员通过对步行虫进行比较深入的研究，认为捕食性步甲与树篱几乎没有联系，因此，在作物生长期间和冬季，步甲很少迁居树篱。然而，在森林稀少的国家如英国，Pollard（1968）认为大田的步甲类群主要来自林地，许多种类在很大程度上依赖农区的树篱生存繁衍。*Agonum dorsale* 就是一种在作物生境与非作物生境之间季节性迁居的步甲。在德国的莱茵兰，Thiele（1977）观察到，农田内的谷物收获后，农田周围的非作物生境中 *A. dorsale* 的数量急剧上升。根据对步甲的生境需求和迁移规律的深入研究，Thiele（1977）提出了步甲在大田与周围生境之间迁移的概念模型。

大田周围的树篱及其类似的生境，对农区瓢虫种群发生发展有明显的影响。研究人员发现，在捷克斯洛伐克，如果苹果园周围种植落叶树，瓢虫 *Coccinella quinpuepunctata* 的数量可以增加 10 倍，因为周围林区可为这种瓢虫提供越冬生境（Hodek，1973）；在英国，周围种有荨麻 *Urtica dioica* 的豌豆田，瓢虫的种群数量比周围只有树林和房屋的豌豆田多（Burn，1987）。

还有一些研究人员报道，生活在田边杂草的替换寄主或猎物，可以提高肉食者对作物害虫的寄生和/或捕食效能。因为许多寄生者和捕食者与寄主或猎物的生命周期不同步，必须依靠替换寄主来维持其种群的生存繁衍，特别是当田间的害虫稀少时，替换寄主就更为重要。在英国南部广泛种植的桤木 *Alnus* spp. 已经成为捕食性盲蝽 *Blepharidopterus angulatus* 的重要种库，这种盲蝽对苹果红蜘蛛 *Panonychus ulmi* 起了重要的调节作用。盲蝽在桤木上可以取食蚜虫和叶蝉，而在 8 月份，当蚜虫和叶蝉的数量减少时，盲蝽就迁移到附近的苹果园，取食并控制红蜘蛛的种群数量（Solomon，1981）。开花的柳树 *Salix caprea* 可以在早春 4 月维持花蝽 *Anthocoris nemorum* 和 *A. nemoralis* 的种群，这时候苹果蚜虫和苹果木虱刚开始孵化，当这两种害虫的数量上升时，花蝽可以迁移到苹果园取食并起控制作用。

在许多情况下，大田周围的杂草和其他自然植被可为害虫天敌的替换寄主或猎物提供栖境，从而为作物害虫和肉食性昆虫在周而复始的生命循环中提供过渡（桥梁）食物资源。一个典型的例子是在靠近野生黑莓 *Rubus* sp. 的葡萄园，卵寄生蜂 *Anagrus epos* 对葡萄叶星斑叶蝉 *Erythroneura elegantula* 的控制效能有很大的提高，因为黑莓是另一种叶蝉 *Dikrella cruentata*（*Anagrus epos* 的替换寄主）的食物资源，在冬季，*Dikrella cruentata* 可在黑莓的叶片上繁殖（Doutt and Nakata，1973），亦即黑莓为这个种间相互作用系统提供了过渡性的食物资源。在葡萄园附近种植洋李树（prune），有利于 *Anagrus epos* 在早春建立种群；越冬后的 *Anagrus* 寄生蜂，与取食洋李树的莓实叶蝉 *Edwardsiana prunicola* 一起在春季迁入靠近洋李树的葡萄园，可以比周围没有种植洋李树的葡萄园提前一个月对葡萄叶星斑叶蝉起控制作用。研究人员建议，在葡萄园周围都应该种植树篱，也可以把这种树篱作为一种商业性的果园来管理，并尽可能多种一些有经济价值的树木，以期同时获得经济效益和生态效益。同样的研究也表明，在葡萄园附近种植菊科植物 *Baccharis pilularis*，可以通过为寄生蜂（如 *Exochus* 和 *Apanteles*）提供替换寄主而对柑橘卷叶蛾起到类似的控制作用（Kido *et al.*，1981）。

因此，非作物生境对作物害虫的天敌种类、数量等的影响十分显著，并制约着作物害虫的发生数量及其为害程度。通过对非作物生境的管理，创造有利于天敌生存、繁衍，而不利于害虫生存的环境条件，在害虫持续控制中具有重要的作用。

4　非作物生境调控与害虫防治

从上述的研究资料可以看出，利用某些天敌来调节害虫数量与我们对大田周围非作物生境的调控程度有关。在生产实践中，我们可以通过改变大田周围非作物生境的植被组成及其他特征来改变农业生态系统中害虫与天敌的相互关系，提高天敌对害虫的控制效能。20 世纪 80 年代在英国进行的研究工作为通过生境管理来提高天敌的数量及效能提供了重要的资料，包括下列两点具体的管理方法（Wratten，1987）：

（1）人为创建一些非靶标作物的生境，为天敌提供越冬和避难场所（种库）。在新创建的庇护场所播种一些草本植物，如黑麦草 *Lolium*、鸭茅草 *Dactylis*、剪股颖 *Agrostis*、绒毛草 *Holcus*，在作物栽培及生长期间，停止使用除草剂，这种做法可有效地为迁入的天敌提供种库。这样的庇护场所也可以种上一些蜜源植物，以吸引膜翅目和食蚜蝇科（Syriphidae）天敌。Chiverton（1989）在瑞典的研究表明，在天敌种库建立一年后，就可发现越来越多的步行虫（如 *Bembidion lampros*）、隐翅虫（*Tachyporus* 属）和蜘蛛在大田周围的草本植物过冬。

（2）增加栖境的潜能。在现有大田周围栖境（如围篱）的基础上，增加新的天敌庇护场所，测定这些庇护场所的小气候变化及其与越冬捕食者数量的相互关系。如在玉米田与周围树篱之间的空地上种上稻、麦，可以创建具有良好微气候的栖境；也可以在这种新创建的天敌庇护场所上种草，以改善围篱的质量。通过研究和阐明大田周围非作物生境在为天敌提供越冬场所、花蜜和花粉、替代猎物，以及为某些捕食者提供栖境等方面所起的作用，有利于在农田设计和创建合理的围篱，促进自然天敌的种群繁衍，提高天敌的控制效能。

Altieri 和 Whitcomb（1979）在美国佛罗里达州北

部的研究表明,大田周围抛荒地的杂草群落,可以通过一年内不同时间的犁耕,改变群落的物种组成。他们发现,增加某些杂草,可以提高与这些杂草有关的植食性和捕食性昆虫的数量及其多样性。在12月犁耕的小区,瓢虫的数量最多,因为这种处理有助于一枝黄花属 *Solidago* sp.和土荆芥 *Mexican tea* (*Chenopodium ambrosioides* L.)植物的生长,生活在这些植物上的植食者如蚜虫等,可为瓢虫和其他捕食者提供适当的食物和栖境。因此,在这种情况下,对栖息在玉米地内捕食者的调控取决于受犁耕时间影响的玉米地周围植被的类型及丰度。

Dambach(1948)根据田边的调查资料,认为田边植被与大田作物的亲缘关系越密切,就越有可能成为作物害虫的虫源滋生地。在谷物、蔬菜、草本作物的周围配置木本植物,可以减少害虫发生的可能性。Mayse 和 Price(1978)在伊利诺斯(Illinois)的研究发现,在所有的大豆田生境中,田边的植食者和捕食者/寄生者数量都比田中心多,其重要原因之一是田边具有相对复杂的植被。LeSar 和 Unzicker(1978)建议,在田边种植一些杂草或豆科植物,有利于蜘蛛迁居大豆田。

在温带地区,越来越多的人选择在果园周围种植单一树种的护篱,白杨 *Populus* spp.、柳树 *Salix* spp.、某些针叶松都可作为护篱的树种,但用得最多的是桤木。这些护篱树都不能为取食苹果的多食性昆虫或螨类提供食物资源,因此,它们对果园害虫综合治理构不成威胁(Solomon, 1981)。一些研究者已经证明,大田邻近的植被可为害虫天敌的生存繁衍提供替代的食物和生境。许多有益昆虫可在作物周围的灌木和桑树林下找到越冬的草丛(Dambach, 1948)。Van Emden(1965)及 Pollard(1968)证明捕食性昆虫的比例随着减少对树篱的管理而增加。这可能是减少管理有利于树篱地面植被的生长,从而助长捕食性天敌的繁衍。

Pollard(1968)在他的研究中发现,把位于谷类作物附近4 m高的山楂树篱分成6块30 m长的区域,用除草剂(百草枯与杀草快混剂)处理其中的三块,全部除去地面的草本植物,结果导致树篱底层(地上1.5 m)捕食者类群的明显减少。*Anthocoris nemorum* 是受影响的捕食者,类似的还有蜘蛛、步甲 *Bembidion guttula* 和 *Agonum dorsale*。这些捕食者最有可能栖息在附近的田块。Pollard(1968)进一步深入研究了步甲 *A. dorsale*,阐明这种捕食者就在树篱底部越冬;通过解剖和观察雌虫卵巢,证明在靠近树篱54 m的范围内捕捉的 *A. dorsale* 都是越冬代,很可能是从树篱侵入的。

已有的研究成果表明:采用合理的耕作制度和栽培措施,能够改善农田生态系统的植被结构,提高生物群落的丰富度和多样性,增加天敌的物种数及其种群数量,降低或抑制有害节肢动物的种群密度和危害程度(Agnew and Smith, 1989; Andow, 1991)。例如,在稻田生态系统中,植被的覆盖度和植被的结构是影响捕食性昆虫和蜘蛛种群数量动态的一个重要因子;在我国南方稻区,常把水稻与花生间作,在花生生长早期,地面覆盖程度低,蜘蛛种类少,种群密度低,主要是游猎型的狼蛛(刘雨芳等,1999);随着花生苗的生长,浓密的花生叶使得生境的植被覆盖度高,遮荫好,湿度大,给蜘蛛提供了一个良好的栖息环境,一些结网型的蜘蛛如皿蛛和球蛛能够很好地适应和利用这种独特的栖境,其种群数量迅速上升(刘雨芳等,1999, 2003;刘雨芳,2000)。在我国华北棉区实行棉麦间作、条带种植,改善棉田生境的植被结构,增加棉田的生物多样性,既有利于麦田瓢虫向棉田迁移,控制棉蚜对棉花生长后期的为害,同时由于有小麦的屏蔽作用,可阻碍有翅蚜向棉田迁移,间作棉田每100株仅有蚜虫1 217头,纯作棉田每100株有蚜虫11 560头;在棉田隔行间作绿豆,天敌数量增加1.3~2.5倍,使第二代棉铃虫卵和虫量减少20%~50%(郭中伟,1998)。Russell(1989)总结,在多种作物栽培生境中,捕食性和寄生性天敌的共同作用,对植食者有较高的致死率,从而将植食者控制在较低的种群密度。Letourneau(1990)的工作表明,在南瓜 *Cucurbita pepo* 地中间作玉米 *Zea may* 和豇豆 *Vigna sinensis*,能加速天敌的繁殖,天敌种群密度显著高于南瓜纯作地,而害虫种群数量又明显低于纯作地。

5 景观水平的害虫生态控制

关于强化和提高农田生物多样性对害虫种群影响的研究多数是在大田水平上进行的,很少考虑较大尺度如景观(landscape)水平的管理。众所周知,景观的空间格局对节肢动物有直接或间接的影响。现代农业景观的一个显著特征是把自然景观分块大面积栽培单一作物,每一块农田栽培的作物具有同质性。这种情况会直接影响植被及节肢动物群落的丰度及其多样性。随着作物单作面积的扩大,天敌种群的生存能力和发育能力则趋于下降,其数量及

调控潜能也趋于下降。因此，在现代农业景观区域内人为地重建非作物生境，重新引入和相嵌一些林地、围拦、灌木篱墙、沼泽地、庭院空地等，可为有益节肢动物的繁殖、取食、避害提供多种类型的栖境（Altieri，1994）。

在大面积的单作农区设置非作物生境或重新引入生物多样性的做法之一是在田间建立多样化的植被通道或设置篱墙，作为有益生物迁移和分布的廊道（corridor）。这种廊道被广泛认为是害虫天敌的重要种库。许多研究都证明，在作物种植区内设置野生植被的廊道，可以提高天敌的丰度和控制效能。这些生境之所以重要，因为它们可以作为天敌的越冬场所，并为寄生性和捕食性天敌提供替代寄主、花粉和花蜜（Landis，1994）。

一些资料表明，在靠近廊道的田边（15～30 m），多食性捕食者的密度明显较高。天敌穿越的距离可以作为设计和优化单作农田廊道空间的基础（Boatman，1994）。通过研究廊道对节肢动物的分布和丰度的影响，可以确定廊道的长度、宽度、距离和频率，以维持一定水平的功能多样性，保证在不使用杀虫剂的情况下作物免受危害。事实上，可以把廊道与作物生境作为一个综合的整体来设计，以强化天敌的控制作用和稳定害虫种群数量（Fry，1995）。李绍石等（1999）在对湖南双季稻区不同景观多样性条件下，全年蜘蛛动态分析表明，其最重要的转移通道为冬作绿肥田—绿肥留种田—早稻田—中稻田—晚稻田—田埂，且绿肥留种田和中稻田是关键的人工斑块，可分别在春、夏季作为蜘蛛的避难所和蛛源田。同时，蜘蛛、飞虱在稻田及其边缘生境带有经常的交流转移，水稻收割期更为活跃，蜘蛛在稻田的密度在田埂种豆或蓄草条件下增高（周尚泉等，1999；刘向东，2002）。

一个完善的廊道系统对整个农田生态系统也有各种正面的效应，如干扰植物病害的传播，防止害虫的迁移，拦阻气流以改变田间的小气候，影响养分、物质、水分的流动，为野生动植物提供栖境。然而，在大范围单作的农业生态系统中，由于自然形成的植被斑块已经消失，廊道最重要的功能是作为重新引入生物多样性的第一个重要步骤（Perry，1994）。

就害虫治理的研究而言，以生物地理区域为单元要比以同类作物的田块为单元更加合适（Levins and Wilson，1979）。根据 Rabb（1978）的观点，应该把农田生态系统理解为是一个较大的区域，包括那些能够通过不同群落之间进行生物、物质、能量交换而影响作物生产的非耕土地。以保护某一种作物为目的而开展害虫防治的研究思路，经常使我们忽视害虫与其他作物或寄主植物的相互联系，忽视邻近的植物群落对害虫生命系统的重要作用。

农田生态系统的植被是由一年生和多年生作物田块、林地、牧草地、休耕地、果园、沼泽地等不同组分镶嵌的结构。虽然可以把系统的一个组分（如某种作物"岛屿"）看成是昆虫从不同地方迁来定殖的栖息地，但是，为了预测害虫和天敌在不同组分之间的移动格局，必须具有系统的整体观点。Rabb（1978）认为昆虫种群的行为和存活与大型生态系统的异质性有关，特别是考虑昆虫种群在不同组分之间的迁移时更是如此。Root（1975）讨论了"复合生态系统"植食者对不同资源斑块的大小及其分散程度的不同反应。许多捕食者倾向于取食多种猎物，它们在植被中的分布与猎物的有效性有关，而与植物的种类无关。在一个较大的范围内，正如植物种群分布的差异性会影响植食者对植物的取食作用一样，植食者分布格局的差异性也会影响捕食者和寄生者对植食者的取食作用。

作为区域性研究和景观管理的一个例子，美国德克萨斯州中东部的韦科（Waco）市昆虫和植物检疫局与土壤保育部合作，曾于 1929～1949 年进行了 20 年的实验研究。昆虫学家们测定了新的作物栽培和土壤保育方法对棉花害虫及其天敌种群的影响作用（De Loach，1970），他们把大约 600 英亩的丘陵农田分成相邻的两个区，每个 300 英亩，分别标定为 Y 区和 W 区。在这两个区，传统的耕作方式持续了 4 年，然后在 Y 区实施了新的保育方法，而 W 区仍然采用传统的耕作方法。采用传统的耕作方法时，棉花占据了大量的土地，随后种植玉米，同时有一些燕麦、牧草和少量的高粱，这些作物几乎占据所有的土地；采用新的耕作方法时，与燕麦相间或重复播种的是苜蓿，加上一些草地。为了能够测定栽培措施的影响作用，两个区均没有施用农药。采用新的方法使棉花害虫的数量减少，受害的面积和棉铃也较少。当初研究人员并未考虑如何阐明和解释这种害虫减少和作物受害减轻的机理，只是假设新的耕作方法使景观发生变化，从而有利于天敌的繁衍。该研究为在景观水平上组织和安排农事活动提供了例证（Paoletti *et al*.，1989）。因为农业是改变景观结构和动态的主要力量，因此，在景观水平上考察植被格局与节肢动物的相互关系是很有意义的。

6 结语

昆虫在不同生境之间的迁移活动是昆虫在长期的进化过程中逐渐形成的一种生存对策，对昆虫种群的保存和繁衍是非常重要的。如果没有迁移或迁飞行为，就可能导致昆虫的地区性灭绝。

在农田生态系统中，作物生境中天敌物种丰富度及其重建的速度与天敌种库容量、天敌迁移运动能力有关，而天敌种库容量又取决于非作物生境的结构复杂性和植被多样性。非作物生境是天敌的栖息地和扩散廊道，其植被和物种多样性为天敌的保护和利用及害虫种群数量的生境调控起了极其重要的作用。但是，随着人口的不断增长和农业集约化的发展，农田景观中的非作物生境面积逐渐减少，在一定程度上引起生物多样性下降和影响物种的扩散。因此，在现代农业景观的区域内重新引入和相嵌一些非作物生境，可为有益节肢动物的繁殖、取食、避害提供多种类型的栖境。

就害虫综合治理而言，以景观为单元要比以同类作物的田块为单元更加合适。把农田生态系统理解为是一个较大的景观区域，包括各种不同的作物生境和非作物生境，运用景观生态学的理论和方法来研究景观区域内不同斑块之间不同要素（如作物、害虫、天敌等）及其功能（如物质、能量和信息）的转移过程和变化规律，揭示害虫在较大尺度和具有异质性的空间范围内的灾变机理，可为害虫的区域性生态调控提供新的研究思路和重要手段，避免以保护某一种作物为目的而开展害虫防治的局限性。

自从Dambach（1948）的研究以来，农田周围的非作物生境作为庇护场所，对助长天敌和减轻作物虫害起了重要作用。然而，目前还有很多有待回答的问题：非作物生境影响作物害虫及其天敌的生态学机制？非作物生境内哪些成分及属性对助长天敌是最重要的？应该如何配置非作物生境内植被的种类和时空格局？非作物生境与其他生态系统之间的相互关系以及是否影响邻近作物田的物种多样性和天敌昆虫的数量？植被属性、作物类型、耕作制度、栽培措施、区域景观结构及动态如何影响非作物生境的生物多样性和物种扩散？深入研究和阐明这些问题，将使农田非作物生境的调控与害虫综合治理提高到一个新的水平。

参考文献（References）

Agnew CW, Smith JW, 1989. Ecology of spiders (Araneae) in a peanut agroecosystem. *Environmental Entomology*, 18(1): 30 – 42.

Altieri MA, 1983. Vegetational designs for insect habitat management. *Environmental Management*, 7(1): 3 – 7.

Altieri MA, 1993. Ethno-science and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for a small farmers in developing countries. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 46: 257 – 272.

Altieri MA, 1994. Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. New York: Haworth Press. 185 pp.

Altieri MA, 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 19 – 31.

Altieri MA, Letourneau DK, 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*. 1: 405 – 430.

Altieri MA, Letourneau DK, 1984. Vegetation diversity and insect pest outbreaks. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, 2: 131 – 169.

Altieri MA, Todd JW, 1981. Some influences of vegetational diversity on insect communities of Georgia soybean fields. *Protection Ecology*, 3: 333 – 338.

Altieri MA, Whitcomb WH, 1979. Manipulation of insect patterns through seasonal disturbance of weed communities. *Protection Ecology*, 1: 185 – 202.

Altieri MA, Whitcomb WH, 1980. Weed manipulation for insect management in corn. *Environmental Management*, 4: 483 – 489.

Andow DA, 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Ann. Rev. Entomol.*, 36: 561 – 586.

Andrew C, Rosenheim JA, 1996. Impact of a natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. *Ecological Entomology*, 21: 155 – 164.

Bach CE, 1980. Effects of plant density and diversity in the population dynamics of a specialist herbivore, the striped cucumber beetle, *Acalymma vittata* (Fab.). *Ecology*, 61: 1 515 – 1 530.

Boatman N, 1994. Field Margins: Integrating Agriculture and Conservation. Surrey: British Crop Protection Council. 404 pp.

Burn AJ, 1987. Cereal crops. In: Burn AJ, Coaker TH, Jepson PC eds. Integrated Pest Management. London: Academic Press. 209 – 256.

Chen CM, Ruan YL, Lei HZ, Deng GR, Chen X, 1979. Integrated management of rice pests. In: Integrated Management of Major Insect Pests in China ed. by Institute of Animal, Chinese Academy of Science. Beijing: Publishing House of Science. 123 – 191.[陈常铭，阮义理，雷惠质，邓国荣，陈秀，1979. 水稻害虫综合防治. 见：中国科学院动物研究所主编. 中国主要害虫综合防治. 北京：科学出版社. 123 – 191]

Chiverton PA, 1989. The creation of within-field overwintering sites for natural enemies of cereal aphids. In: Brighton Crop Protection Conference-Weeds. Farn, Surrey. British Crop Protection Council. 1 093 – 1 096.

Dambach CA, 1948. Ecology of Crop Field Border. Columbus: Ohio State University Press. 203 pp.

De Loach CJ, 1970. The effect of habitat diversity on predation. In: Proceedings of Tall Timbers Conference on Ecological Animal Control by Habitat management, Tallahassee, Fla. 223 – 241.

Doutt RL, Nakata J, 1973. The *Rubus* leafhopper and its egg parasitoid: an endemic biotic system useful in grape-pest management. *Environmental Entomology*, 2: 381 – 386.

Fry G, 1995. Landscape ecology of insect movement in arable ecosystems. In: Glen DM ed. Ecology and Integrated Farming Systems. Bristol: Wiley. 236 – 242.

Grist DR, Lever JW, 1969. Pests of Rice. London: Longmans Green Co. 520 pp.

Gu DX, Zhang GR, Zhang WQ, Qiu DS, 1999. Community rebuilding of spider and its correlation with species pools in paddy fields. *Acta Arachnologica Sinica*, 8(2): 89 – 94.［古德祥，张古忍，张文庆，邱道寿，1999. 稻田蜘蛛群落的重建及与其种库的相关性. 蛛形学报，8(2): 89 – 94］

Guo ZW, 1998. Biodiversity in farmland ecosystem. *Introduction of Science and Technology*, 4: 19 – 21.［郭中伟，1998. 农田生态系统中的生物多样性. 科技导报，4: 19 – 21］

Hodek I, 1973. Biology of Coccinellidae. Junk N. V. Publishers, Academia, the Hague, the Netherlands.

Hou ML, Sheng CF, 1999. Effect of plant diversity in agroecosystems on insect pest population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 10(2): 245 – 250.［侯茂林，盛承发，1999. 农田生态系统植物多样性对害虫种群数量的影响. 应用生态学报，10(2): 245 – 250］

Kido H, Flaherty DL, Kennett CE, McCalley NF, Bosch DE, 1981. Seeking the reasons for differences in orange tortrix infestations. *California Agriculture*, 35: 27 – 28.

Landis DA, 1994. Arthropod sampling in agricultural landscapes: ecological considerations. In: Pedgo LP, Buntin GD eds. Boca Raton: Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture. CRC Press. 714 pp.

LeSar CD, Unzicker JD, 1978. Soybean spiders: species composition, population densities and vertical distribution. Illinois Natural History Survey Biological Notes No. 107.

Letourneau DK, 1990. Mechanisms of predator accumulation in a mixed crop system. *Ecological Entomology*, 15: 115 – 120.

Levins R, Wilson M, 1979. Ecological theory and pest management. *Ann. Rev. Entomol.*, 25: 7 – 29.

Lewis T, 1965. The effects of shelter on the distribution of insect pests. *Scientific Horticulture*, 17: 74 – 84.

Li SS, Zhou SW, Liu H, Zhou SQ, Fan BY, 1999. Effects of landscape diversity to spiders conservation and planthoppers management in double rice cropping area. 1. Landscape element pattern study for conservation spiders in year along. *Plant Protection Technology and Extension*, 19(4): 10 – 12.［李绍石，周社文，刘晖，周尚泉，范丙阳，1999. 双季稻区景观多样性对保蛛控虱的影响，1. 景观元素格局与蜘蛛种群周年的动态关系. 植保技术与推广，19(4): 10 – 12］

Liss WJ, Gut LJ, 1986. Perspectives on arthropod community structure, organization and development in agricultural crops. *Ann. Rev. Entomol.*, 31: 455 – 478.

Liu XD, Zhang XX, Luo YJ, Zhu YL, Liu TL, 2002. The diversity of arthropod community and control function to brown planthopper (BPH) in rice field. *Acta Entomologica Sinica*, 45(3): 359 – 364.［刘向东，张孝羲，罗跃进，朱元良，刘天龙，2002. 稻田节肢动物群落的多样性及对褐飞虱的控制功能. 昆虫学报，45(3): 359 – 364］

Liu YF, 2000. Studies on Arthropod Community Structure in Paddy Ecosystem. PhD Dissertation of Zhongshan University. 205 pp.［刘雨芳，2000. 稻田生态系统节肢动物群落结构研究. 中山大学博士学位论文. 205 页］

Liu YF, Gu DX, Zhang GR, 2003. The community dynamics of predatory arthropods in both weed habitat and paddy field from a double cropping paddy in Guangdong. *Acta Entomologica Sinica*, 46(5): 591 – 597.［刘雨芳，古德祥，张古忍，2003. 广东双季稻区杂草地和稻田中捕食性节肢动物的群落动态. 昆虫学报，46(5): 591 – 597］

Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 1999. Spider community in peanut fields. *Acta Arachnologica Sinica*, 8(2): 85 – 88.［刘雨芳，张古忍，古德祥，1999. 花生地蜘蛛群落的研究. 蛛形学报，8(2): 85 – 88］

Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 2000. Effect and the acting mechanisms of the habitats and vegetational diversity on arthropod community in agroecosystem. *Journal of Xiangtan Normal University* (Natural Science Edition), 21(6): 74 – 78.［刘雨芳，张古忍，古德祥，2000. 农田生态系统中生境与植被多样性对节肢动物的影响及其作用机制探讨. 湘潭师范学院学报(自然科学版)，21(6): 74 – 78］

Lou YG, Chen JA, Pang BP, Du MH, 1999. Discussion on approaches to augment the effectiveness of natural enemies in rice ecosystem. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 11(6): 333 – 338.［娄永根，程家安，庞保平，杜孟浩，1999. 增强稻田天敌作用的途径探讨. 浙江农业学报，11(6): 333 – 338］

Maier CT, 1981. Parasitoids emerging from puparia of *Rhagoletis pomenella* (Diptera: Tephritidae) infesting hawthorn and apple in Connecticut. *Canadian Entomologist*, 113: 867.

Mao RQ, Zhang WQ, Zhang GR, Gu DX, 2002. An investigation on dynamics of egg-parasitoid community on planthopper in rice area in South China. *Acta Entomologica Sinica*, 45(1): 96 – 101.［毛润乾，张文庆，张古忍，古德祥，2002. 稻田稻飞虱卵寄生蜂群落的重建和维持. 昆虫学报，45(1): 96 – 101］

Mayse MA, Price PW, 1978. Seasonal development of soybean arthropod communities in east central Illinois. *Agroecosystems*, 4: 387 – 405.

Paoletti MG, Stinner BR, Lorenzoni GG, 1990. Agricultural ecology and environment. Elsevier, Amsterdam.

Perry DA, 1994. Forest Ecosystems. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 649 pp.

Pollard E, 1968. Hedges IV. A comparison between the carabidae of a hedge and field site and those of a woodland glade. *Journal of Applied Ecology*, 5: 649 – 657.

Rabb RL, 1978. A sharp focus on insect population and pest management from a wide area view. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 24: 55 – 60.

Risch SJ, 1980. The population dynamics of several herbivorous beetles in a tropical agroecosystem: the effect of intercropping corn, beans and squash in Costa Rica. *Journal of Applied Ecology*, 17: 593 – 612.

Risch SJ, Andow D, Altieri MA, 1983. Agroecosystem diversity and pest management. *Environ. Entomol.*, 12(3): 625 – 629.

Root RB, 1975. Some consequences of ecosystem texture. In: Levins SA ed. Ecosystem Analysis and Prediction. Ind. Appl. Math., Philadelphia, PA.

Russell EP, 1989. Enemies hypothesis: a review of the effect of vegetational

diversity on predatory insects and parasitoids. *Environmental Entomology*, 18: 590 – 599.

Slosser JE, Boring EP III, 1980. Shelterbelts and bollweevils: a control strategy based in management of overwintering habitat. *Environmental Entomology*, 9: 1 – 6.

Solomon MG, 1981. Windbreaks as a source of orchard pests and predators, In: Thresh JM ed. Pest, Pathogens and Vegetation: the Role of Weeds and Wild Plants in the Ecology of Crop Pests and Diseases. Pitman, Boston MA. 273 – 282.

Thiele H, 1977. Carabid Beetles in Their Environments. New York: Springer-Verlag.

Topham M, Deardsley JW, 1975. An influence of nectar source plants on the New Guinea sugarcane weevil parasite, *Lixophaga sphenophori* (Villeneuve). *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 22: 145 – 155.

Van Emden HF, 1965. The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Scientific Horticulture*, 17: 121 – 136.

Van Emden HF, 1990. Critical Issue in Biological Control. Andoven Hants, Intercept. 63 – 80.

Wainhouse D, Coaker TH, 1981. The distribution of carrot fly (*Psila rosae*) in relation to the fauna of field boundaries. In: Thresh JM ed. Pest, Pathogens and Vegetation: the Role of Weeds and Wild Plants in the Ecology of Crop Pests and Diseases. Pitman, Boston, M.A. 263-272.

Wratten SD, 1987. The effectiveness of native natural enemies. In: Burn AJ, Coa ker TH, Jepson PC eds. Integrated Pest Management. London: Academic Press. 89 – 112.

Yu XP, Hu C, Heong KL, 1996. The effects of non-crop habitats on crop pests and their natural enemies. *Chinese Journal of Biological Control*, 12(3): 130 – 133. [俞晓平,胡萃,Heong KL, 1996. 非作物生境对农业害虫及其天敌的影响. 中国生物防治,12(3): 130 – 133]

Yu XP, Hu C, Heong KL, 1998. Parasitization and preference characteristics of egg parasitoids from various habitats to homopterans. *Acta Entomologica Sinica*, 41(1): 41 – 47. [俞晓平,胡萃,Heong KL, 1998. 不同生境源的稻飞虱卵寄生蜂对寄主的选择和寄生特性. 昆虫学报,41(1): 41 – 47]

Yu XP, Zheng XS, Xu HX, Lu ZX, Chen JM, Tao LY, 2002. A study on the dispersal of lycosid spider, *Pirata subpiraticus* between rice and *Zizania* fields. *Acta Entomologica Sinica*, 45(5): 636 – 640. [俞晓平,郑许松,徐红星,吕仲贤,陈建明,陶林勇,2002. 拟水狼蛛在水稻与茭白田之间的转移. 昆虫学报,45(5): 636 – 640]

Zhang GR, Gu DX, Zhang WQ, 1997. Species pool of predatory arthropod communities and community rebuilding in paddy fields. *Journal of Biological Control*, 13(2): 65 – 68. [张古忍,古德祥,张文庆,1997. 稻田捕食性天敌节肢动物群落的种库与群落的重建. 中国生物防治,13(2): 65 – 68]

Zhou SQ, Fan BY, Liu PY, Shi NZ, 1999. Effects of landscape diversity to spiders conservation and planthoppers management in double rice cropping area. 2. Rice field edges relative to spiders and planthoppers population dynamics. *Plant Protection Technology and Extension*, 19 (5): 9 – 11. [周尚泉,范丙阳,刘朋宇,石年珍,1999. 双季稻区景观多样性对保蛛控虱的影响. 1. 稻田边界生境的蜘蛛、飞虱种群动态. 植保技术与推广,19(5): 9 – 11]

Zhuang XQ, 1989. Studies on the relationship between insect community and the grasses on the rice field ridges. *Acta Ecologica Sinica*, 9(1): 35 – 40. [庄西卿,1989. 稻田田埂昆虫群落与田埂杂草关系的研究. 生态学报,9(1): 35 – 40]

(责任编辑: 袁德成)